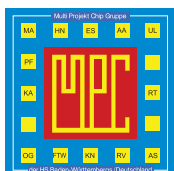


MPC

MULTI PROJEKT CHIP GRUPPE
BADEN - WÜRTTEMBERG

Herausgeber: Hochschule Ulm **Ausgabe:** 52 **ISSN** 1868-9221 **Workshop:** Künzelsau Juli 2014

- 1 Low Power Communication Electronics**
K. v. Arnim, Intel Mobile Communications GmbH, München
- 5 Electronic Displays: Technologies – Systems – Optimizations**
K.-H. Blankenbach, HS Pforzheim
- 11 A Millimeter-Wave Power Amplifier Concept in SiGe BiCMOS Technology for Investigating HBT Physical Limitations**
J. Wursthorn, H. Knapp, B. Wicht, HS Reutlingen
- 15 Substratkoppeln in schnell schaltenden integrierten Leistungsendstufen**
C. Rindfleisch, J. Wittmann, B. Wicht,
Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik, Reutlingen
- 21 Optimierte, wiederverwendbare OTA-Schaltungen für moderne Power BiCMOS-Technologien**
A. Gerlach, M. Junge, J. Scheible, T. Rosahl,
Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik, Reutlingen
- 27 Eine effiziente Dekodierarchitektur für verallgemeinert verkettete Codes**
J. Spinner, J. Freudenberger, HS Konstanz
- 33 Entwicklung einer innovativen Softwarearchitektur für Cloud-basierte Cyber-physische Systeme**
M. Engelsberger, T. Greiner, HS Pforzheim



Cooperating Organisation
Solid-State Circuit Society Chapter
IEEE German Section

Tagungsband zum Workshop der Multiprojekt-Chip-Gruppe Baden-Württemberg
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.

Die Inhalte der einzelnen Beiträge dieses Tagungsbandes liegen in der Verantwortung der jeweiligen Autoren.

Herausgeber:

Gerhard Forster, Hochschule Ulm, Prittwitzstraße 10, D-89075 Ulm

Mitherausgeber (Peer Reviewer):

Jürgen Giehl, Hochschule Mannheim, Paul-Wittsack-Straße 10, D-68163 Mannheim

Frank Kesel, Hochschule Pforzheim, Tiefenbronner Straße 65, D-75175 Pforzheim

Axel Sikora, Hochschule Offenburg, Badstraße 24, D-77652 Offenburg

Alle Rechte vorbehalten

Diesen Workshopband und alle bisherigen Bände finden Sie im Internet unter:

<http://www.mpc.belwue.de>

Optimierte, wiederverwendbare OTA-Schaltungen für moderne Power BiCMOS-Technologien

Andreas Gerlach, Moritz Junge, Jürgen Scheible, Thoralf Rosahl

Zusammenfassung—Es wird das Ziel verfolgt, eine Möglichkeit für die sichere Wiederverwendbarkeit von Schaltungen aus der OTA-Schaltungsklasse bereitzustellen. Hierfür werden ausgewählte OTA-Schaltungstopologien für die „Copy-and-Paste“-Methode vorgestellt. Es wurde im industriellen Umfeld gezeigt, dass sie sich unter der Voraussetzung einer repräsentativen Topologieauswahl – vordimensioniert für den typischen Anwendungsbereich – schon in dieser Form für die Wiederverwendung eignen.

Schlüsselwörter—Chipentwicklung, Analog-Reuse, OTA, Copy-and-Paste, Reuse-Bibliothek, Schaltungsklasse, Analog-IP, Topologieauswahl, Dimensionierung.

I. EINLEITUNG

In der Entwicklung analoger integrierter Schaltungen werden im Vergleich zur Entwicklung digitaler Chips nur wenige Schaltungen wiederverwendet. Eine erfolgreiche, breite Wiederverwendung von Analog-IP würde zu einer Kostenersparnis in der Entwicklung führen und wird daher generell in der Industrie angestrebt [1]. Bei einer Wiederverwendung über den gesamten Design-Flow würde sowohl der Aufwand bei der Schaltungsentwicklung, wie auch bei der Layoutentwicklung sinken.

Grundsätzlich lässt sich zwischen der einfachen „Copy-and-Paste“-Methode (fest dimensionierte Schaltungen) und weiterentwickelten Konzepten zur Wiederverwendung analoger Schaltungen mit gezielt zugelassenen Freiheitsgraden unterscheiden. Im Weiteren werden Erfahrungen mit der „Copy-and-Paste“-Methode dargestellt. Die „Copy-and-Paste“-Wiederverwendungsmethode wurde am Beispiel ausgewählter Schaltungstopologien der OTA-Schaltungsklasse praktisch umgesetzt. Die Vorkommenshäufigkeit und der einfache Aufbau der Schaltungen innerhalb dieser Schaltungsklasse waren die Entscheidungskriterien bei der Auswahl. Eine Schaltungsklasse enthält Schaltungen, die eine bestimmte Schaltungsfunktion erfüllen.

Bei OTAs ist das die Umwandlung einer Spannungsdifferenz am Eingang in einen dazu proportionalen Strom am Ausgang (näheres hierzu siehe Kap. 3). Eine Schaltung kann mehreren Schaltungsklassen angehören.

II. EINE REUSE-BIBLIOTHEK

Eine Reuse-Bibliothek ist eine Bibliothek, die in der EDA-Entwurfsumgebung eingebunden ist und Schaltungen für einen breiten Wiederverwendungseinsatz beinhaltet. Man kann nicht eine Reuse-Bibliothek, die alle möglichen Schaltungstopologien bereitstellt, einrichten. Dazu ist die Anzahl der möglichen Schaltungstopologien zu groß. Wenn man Schaltungen für Reuse bereitstellt, muss die Topologieauswahl auf geeignete Beispiele mit zu erwartendem hohem Wiederverwendungsgrad beschränkt werden.

Bei der Auswahl sollte darauf geachtet werden, möglichst einfache Topologien auszuwählen, die den typischen Aufgaben genügen. Eine einfache Topologie, die eine Aufgabe genauso gut lösen kann wie eine komplexere, sollte immer bevorzugt werden, da sie vielerlei Vorteile bietet: geringerer Entwurfsaufwand, geringere Fehleranfälligkeit, geringere Chipfläche und daraus resultierende geringere Kosten, um nur die wichtigsten zu benennen. Diese Regel gilt allgemein für die Entwicklung analoger Schaltungen und auch speziell für die Entwicklung von Schaltungen für den Reuse-Einsatz. Bei den Reuse-Schaltungen ist mit dem Begriff Entwurfsaufwand speziell der Aufwand gemeint, der benötigt wird, um eine Schaltung so auszulegen, dass sie als Element einer Reuse-Bibliothek genutzt werden kann.

Um erfolgreich die „Copy-and-Paste“-Methode umzusetzen, wurden die für eine Reuse-Bibliothek einzuhaltenden Eigenschaften definiert. Diese Eigenschaften werden nachfolgend aufgelistet und jeweils kurz erläutert:

- Jede für Reuse geeignete Schaltungstopologie wird in Form eines Schaltplans samt dazugehörigem Layout und Symbol in der Entwurfsumgebung bereitgestellt.
- Zu jeder Schaltungstopologie wird ein sie beschreibendes Datenblatt erstellt, denn eine genaue Spezifikation der Schaltungen ist Voraussetzung für ihre Wiederverwendung.

Andreas Gerlach, andreas.gerlach@reutlingen-university.de, Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik, Oferdinger Str. 50, 72768 RT-Rommelsbach; Moritz Junge, mojunge@uni-bremen.de, Universität Bremen; Jürgen Scheible, juergen.scheible@reutlingen-university.de, Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik; Thoralf Rosahl, thoralf.rosahl@de.bosch.com, Robert Bosch GmbH.

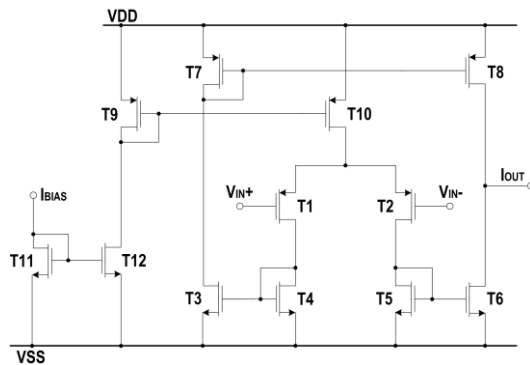


Abbildung 1: Schaltplan des symmetrischen „P-Eingang“-OTA.

- Damit die Schaltungen einfach in die Design-Umgebung eingebunden werden können, wird die Biasstromrichtung für alle Topologien eindeutig definiert. So werden die hier vorgestellten Schaltungen mit einem „Pull-up“-Bias-Strom gespeist.
- Alle Schaltungen sind fest dimensioniert. Dabei erfüllt die Dimensionierung typische Anforderungen aus der Praxis.

Die Reuse-Bibliothek kann bei Bedarf um weitere, sinnvolle Topologien erweitert werden.

III. DIE OTA-SCHLUNGSKLASSE

OTA-Schaltungen (Operational Transconductance Amplifier) sind Operationsverstärker, die eine Differenzspannung an den beiden Eingängen in einen dazu proportionalen Ausgangsstrom umwandeln [2]. Ihre Hauptanwendungsbereiche sind Regelung, Kleinsignalverstärkung und Schwellwerterkennung.

OTAs zählen zu den am häufigsten eingesetzten Schaltungen im analogen und im Mixed-Signal-Chipentwurf [3]. Zudem sind sie in ihrer Komplexität noch recht überschaubar (Umfang hier betrachteter OTA-Beispiele: 10 bis 25 Transistoren). Aus diesen Gründen wurden sie als erstes Anwendungsbeispiel für die Entwicklung von Reuse-Methoden ausgewählt.

IV. AUSGEWÄHLTE OTA-SCHLUNGSTOPOLOGIEN FÜR DIE REUSE-BIBLIOTHEK

In diesem Kapitel werden drei ausgewählte OTA-Schaltungstopologien für Wiederverwendungszwecke präsentiert. Mit diesen OTA-Varianten hat man die Wahl zwischen OTA-Schaltungen für die Auswertung der am häufigsten in der Praxis vorkommenden Arten von Signalen. Die Reihenfolge der Vorstellung der einzelnen Schaltungen entspricht der zu erwartenden Häufigkeit der Einsetzbarkeit.

Alle hier vorgestellten Schaltungen haben einen Single-Ended-Ausgang, denn OTAs mit Single-Ended-Ausgängen werden im Vergleich zu denen mit symmetrischen Ausgängen häufiger eingesetzt und

Tabelle 1: Symmetrischer-„P-Eingang“-OTA: Dimensionierung.

T1, T2:	$W = 30 \mu\text{m}, L = 5 \mu\text{m}, M = 2$
T4, T5:	$W = 8 \mu\text{m}, L = 22 \mu\text{m}$
T3, T6:	$W = 8 \mu\text{m}, L = 22 \mu\text{m}, M = 2$
T7, T8:	$W = 10 \mu\text{m}, L = 15 \mu\text{m}$
T9, T10:	$W = 2 \mu\text{m}, L = 2 \mu\text{m}$
T11, T12:	$W = 2 \mu\text{m}, L = 2 \mu\text{m}$

Tabelle 2: Symmetrischer-„P-Eingang“-OTA: Typische Werte der eingestellten Ausgangsparameter. Sie wurden simulatorisch bei Raumtemperatur und unter Einbezug der Bauelementtoleranzen bei einer Versorgungsspannung von 5 V ermittelt.

Steilheit	102 μS
Offsetspannung (3σ -Wert)	2,24 mV
Abweichung der Steilheit	5,15 %
Eingangsspannungsbereich	-0,3 V – 2,8 V

weisen einen einfacheren Aufbau auf. Beim „P-Eingang“- und „N-Eingang“-OTA handelt es sich um einstufige Verstärker mit einstellbarem Übersetzungsverhältnis. Der hier präsentierte „Rail-to-Rail“-OTA ist ebenfalls ein einstufiger Verstärker, jedoch ohne Übersetzungsverhältnis.

Die Schaltungen wurden dimensioniert, um typische Anforderungen aus der Praxis zu erfüllen. Das Augenmerk wurde hierbei auf die Steilheit, den Steilheitsverlauf, die Offsetspannung und das Rauschen gelegt. Zukünftig wären zusätzliche Dimensionierungsvarianten denkbar, z.B. eine auf Geschwindigkeit optimierte.

A. Symmetrischer „P-Eingang“-OTA

Bei diesen Schaltungen lassen sich, bedingt durch P-Kanal- oder (optional) pnp-Eingangstransistoren, Eingangsspannungen im unteren Versorgungsspannungsbereich analysieren, d.h. vom unteren Rail¹ (auch knapp darunter) bis etwas über die halbe Versorgungsspannung². Sie erreichen das obere Rail jedoch nicht.

¹ Mit unterem und oberem Rail bezeichnet man die unteren und oberen Level der Versorgungsspannung.

² Diese qualitative Aussage gilt für die im Kfz-Bereich typischen Versorgungsspannungen von 3 V – 5 V und ist deutlich vereinfacht. Quantitativ wird der Wert der maximalen Eingangsspannung durch den Ausdruck

$$U_{in,max} = V_{DD} - |U_{DS10,min}| - |U_{GS1,min}|$$

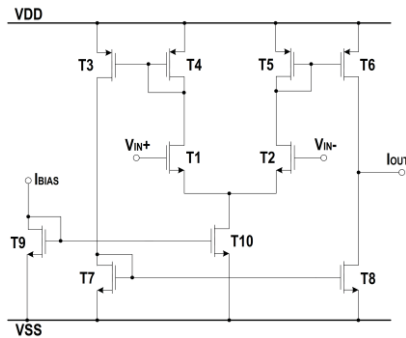


Abbildung 2: Schaltplan des symmetrischen „N-Eingang“-OTA.

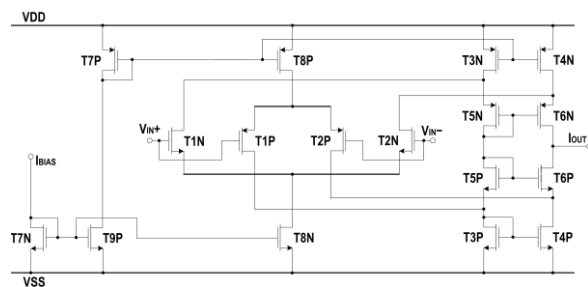


Abbildung 3: Schaltplan des „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA.

Da die meisten in der Praxis auszuwertenden Signale im unteren Versorgungsspannungsbereich liegen, wird der „P-Eingang“-OTA innerhalb der OTA-Schaltungs-kategorie am häufigsten eingesetzt. Die Topologie der symmetrischen „P-Eingang“-OTA-Schaltung, die hier für die Wiederverwendung ausgewählt worden ist, wird in Abbildung 1 gezeigt. Die gewählten Parameter, sowie die damit erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet.

B. Symmetrischer „N-Eingang“-OTA

Das Eingangspaar des Differenzverstärkers dieser Schaltung besteht im Gegensatz zum symmetrischen „P-Eingang“-OTA aus N-Kanal- oder (optional) npn-Transistoren. Hierdurch ist die Schaltung für die Auswertung von Signalen im oberen Eingangsspannungsbereich ausgelegt. Der Arbeitsbereich reicht von knapp unterhalb der halben Betriebsspannung bis über das obere Rail. Schaltungstopologisch gesehen ähnelt der Aufbau sehr dem des „P-Eingang“-OTAs (vergl. Abbildungen 1 und 2); die Schaltpläne sind fast komplementär identisch.

beschrieben; wobei V_{DD} die Versorgungsspannung, $|U_{DS10,min}|$ der Betrag der minimalen Drain-Source-Spannung vom Transistor T10 und $|U_{GS1,min}|$ der Betrag der minimalen Gate-Source-Spannung vom Transistor T1 ist.

Tabelle 3: Symmetrischer-„N-Eingang“-OTA: Dimensionierung

T1, T2:	$W = 30 \mu\text{m}, L = 15 \mu\text{m}$
T4, T5:	$W = 15 \mu\text{m}, L = 15 \mu\text{m}$
T3, T6:	$W = 15 \mu\text{m}, L = 10 \mu\text{m}, M = 2$
T7, T8:	$W = 15 \mu\text{m}, L = 10 \mu\text{m}, M = 2$
T9, T10:	$W = 2 \mu\text{m}, L = 2 \mu\text{m}, M = 2$

Tabelle 4: Symmetrischer-„N-Eingang“-OTA: Typische Werte der eingestellten Ausgangsparameter. Sie wurden simulatorisch bei Raumtemperatur und unter Einbezug der Bauelementtoleranzen bei einer Versorgungsspannung von 5 V ermittelt.

Steilheit	83 μS
Offsetspannung (3σ -Wert)	2,49 mV
Abweichung der Steilheit	6,41 %
Eingangsspannungsbereich	1,2 V – 5,3 V

Um die das Biasing betreffende Regel einzuhalten (Kapitel II), werden für die „N-Eingang“-OTA-Schaltung im Vergleich zum „P-Eingang“-OTA zwei Transistoren weniger benötigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dem hier festgelegten, einzuspeisenden „Pull-up“-Bias-Referenzstrom in dieser Topologie lediglich ein Stromspiegel für die Spiegelung des Stroms zum Differenzverstärker benötigt wird. Beim „P-Eingang“-OTA war an dieser Stelle eine doppelte Stromspiegelung vorhanden. Die gewählten Parameter, sowie die damit erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 3 und 4 aufgezeigt.

C. „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA

In der hier gewählten „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA-Topologie (Abbildung 3), einem typischen Repräsentanten des „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA-Typs, sind ein „P-Eingang“- und ein „N-Eingang“-OTA so verschaltet, dass die Auswertung von Signalen innerhalb des gesamten Versorgungsspannungsbereichs möglich ist. Die Steilheitsfunktion des „Rail-to-Rail-Eingang“-OTAs ergibt sich aus einer Superposition der Steilheitsverläufe der beiden Einzelschaltungen (Abb. 4).

Durch die Kombination der Einzelschaltungen werden die Teilströme dieser Schaltungen am Ausgang überlagert, um den Ausgangsstrom I_{out} zu erzeugen. Die Transistorzahl wird gering gehalten, indem zwei gefaltete Kaskoden eingesetzt werden. Die Vorteile dieser Lösung sind nebst der geringen Transistorzahl ein vergrößerter Ausgangswiderstand der Schaltung, eine Erhöhung der auswertbaren Signalfrequenz (erzielt durch Minimierung des Miller-Effekts), sowie im Vergleich zu einer Topologie mit normalen Kaskoden ein größerer Eingangsspannungsbereich.

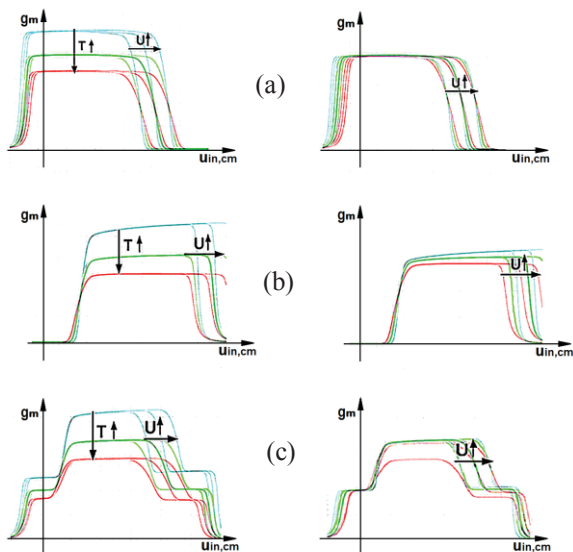


Abbildung 4: Temperatureinflüsse beim Biasing mit einer Konstantstromquelle (linke Spalte). Korrektur von Temperatureinflüssen durch Biasing mit einer PTAT-Referenzstromquelle (rechte Spalte). Steilheitsverlauf dargestellt gegenüber der Common-Mode-Eingangsspannung für unterschiedliche Temperaturen des „P-Eingang“- (a), „N-Eingang“- (b) und des „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA (c). Die kleinen Pfeile neben den Buchstaben U und T bedeuten jeweils den Anstieg der Versorgungsspannung und der Temperatur. Die etwas größeren Pfeile zeigen die Richtungen der dadurch verursachten Änderungen der Steilheitsverläufe.

Die hier vorgestellte „Rail-to-Rail“-OTA-Schaltung hat eine Mindeststeilheit von $50 \mu\text{S}$. Das Maximum des Steilheitsverlaufs, aufgetragen über dem Eingangsspannungsverlauf, beträgt jedoch $102 \mu\text{S}$, wobei sich ein inhomogener Steilheitsverlauf ergibt, mit einer charakteristischen Stufe in der Mitte (Abb. 4c). Es gibt schaltungstechnische Maßnahmen, die zu einem homogenen Steilheitsverlauf führen [4]. Es hat sich jedoch in der Praxis bestätigt, dass viele Aufgaben auch ohne diese zusätzlichen Aufwendungen gelöst werden können. Nach der Devise, immer die einfachste Topologie zur Lösung eines schaltungstechnischen Problems einzusetzen (vgl. Kapitel II), fiel die Entscheidung auf die hier vorgestellte Variante. Die gewählten Parameter, sowie die damit erzielten Schaltungsparameter sind in den Tabellen 5 und 6 aufgelistet.

Es wäre denkbar, in Zukunft weitere „Rail-to-Rail“-Topologien der OTA-Schaltungsbibliothek hinzuzufügen, auch solche, die keinen „Treppenverlauf“ der Steilheit aufweisen, sondern einen homogenen Verlauf. Dies würde zu einer möglichen breiteren Einsetzbarkeit führen.

V. REDUKTION DER TEMPERATURABHÄNGIGKEITEN

Bei der Entwicklung von Elektronik für den Kfz-Einsatz wird das Verhalten von Schaltungen bei unterschiedlichen Temperaturen gründlich analysiert. Im Auto können große Temperaturschwankungen auftreten.

Tabelle 5: „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA: Dimensionierung

T1, T2:	$W = 30 \mu\text{m}, L = 5 \mu\text{m}, M = 2$
T4, T5:	$W = 8 \mu\text{m}, L = 22 \mu\text{m}$
T3, T6:	$W = 8 \mu\text{m}, L = 22 \mu\text{m}, M = 2$
T7, T8:	$W = 10 \mu\text{m}, L = 15 \mu\text{m}$
T9, T10:	$W = 2 \mu\text{m}, L = 2 \mu\text{m}$
T11, T12:	$W = 2 \mu\text{m}, L = 2 \mu\text{m}$

Tabelle 6: „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA: Typische Werte der eingestellten Ausgangsparameter. Sie wurden simulatorisch bei Raumtemperatur und unter Einbezug der Bauelementtoleranzen bei einer Versorgungsspannung von 5 V ermittelt.

Steilheit	$102 \mu\text{S}$
Offsetspannung (3σ -Wert)	$2,36 \text{ mV}$
Abweichung der Steilheit	50%
Eingangsspannungsbereich	$-0,3 \text{ V} - 5,3 \text{ V}$

ten. Sie werden durch Wettereinflüsse bewirkt, sowie durch überwiegend chemische und mechanische Wärmequellen im Auto (insbesondere Verbrennungsmotor, Abgasleitungsbereich und Bremsanlage). Analoge Schaltungen, die in unmittelbarer Nähe dieser Wärmequellen verbaut werden, müssen im gesamten möglichen Temperaturbereich zuverlässig arbeiten. Um dies für die hier für die Wiederverwendung vorgestellten OTA-Schaltungen sicherzustellen, wurde das Biasing mit einer PTAT-Stromquelle als Maßnahme zur Unterdrückung von Temperatureinflüssen überprüft.

Bei der heutigen Entwicklung analoger und Mixed-Signal-Schaltungen werden – nebst der die eigentlichen, spezifizierten Nutzfunktionen erfüllenden Schaltungsblöcke – Referenzstromquellen auf dem Chip mitintegriert. Man kann davon ausgehen, dass eine Konstantreferenzstromquelle für das Biasing immer vorhanden ist. In vielen Fällen steht zusätzlich eine PTAT-Referenzstromquelle (Proportional To Absolute Temperature) bereit. Die hier gezeigten Schaltungen können sowohl durch eine Konstantstromquelle, wie auch durch eine PTAT-Stromquelle gespeist werden. Durch das Verwenden einer PTAT-Stromquelle lässt sich jedoch der Temperatureinfluss auf die Schaltung deutlich verringern. Dies wird am Beispiel des Steilheitsverlaufs grafisch gezeigt (Abb. 4, rechte Spalte).

Die Verwendung einer PTAT-Stromquelle für das Biasing der hier vorgestellten Schaltungen hat sich als Maßnahme zur Temperatureinflussunterdrückung als wirkungsvoll erwiesen und lässt sich in der Praxis gut umsetzen.

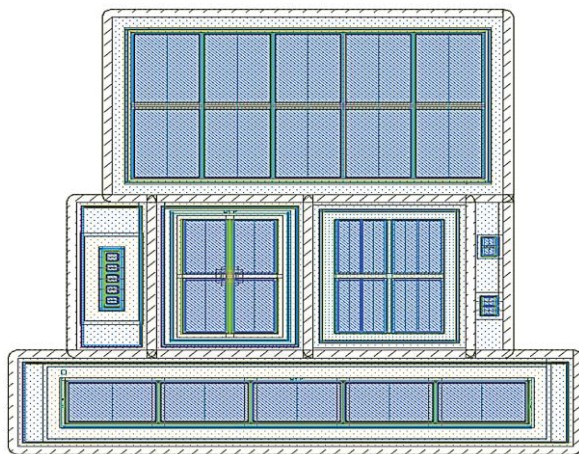


Abbildung 5: Layout der „Rail-to-Rail-Eingang“-OTA-Schaltung.

VI. GESAMTFLOWBETRACHTUNG

Alle OTA-Schaltungen für den „Copy-and-Paste“-Einsatz wurden im Rahmen einer Gesamtflowbetrachtung entwickelt. Durch die Berücksichtigung von Randbedingungen und Möglichkeiten des an die Schaltungsentwicklung anschließenden physikalischen Entwurfs können die entstehenden Schaltungen so ausgelegt werden, dass in Zukunft nicht nur fest vorgegebene Layouts in der Reuse-Bibliothek ihren Platz finden, sondern auch eine Automatisierung des Layoutentwurfs bei sich ändernden Transistorparametern möglich wird. Hierzu wurden Constraint-Vorgaben zum Floorplanning und zur Umsetzung der notwendigen Symmetrie – insbesondere der Aufteilung und Verschachtelung der Bauelemente – erarbeitet. Abbildung 5 zeigt ein aktuelles Layout-Beispiel für fest eingestellte Transistorparameter.

VII. RESÜMEE

Am Beispiel der OTA-Schaltungsklasse konnte gezeigt werden, dass die „Copy-and-Paste“-Wiederverwendungsmethode in der Praxis gut umsetzbar und damit prinzipiell wirkungsvoll ist, wenn sie auf einer Reuse-Bibliothek mit den in Kap. II beschriebenen Eigenschaften aufsetzt. Da die entsprechende methodische Unterstützung in der Praxis noch weitgehend fehlt, wird die Methode in der hier vorgestellten Form bislang leider selten angewendet.

Damit Schaltungen wiederverwendet werden können, bedarf es einer umfangreichen Vorarbeit. Es muss untersucht werden, welche Schaltungen oft genutzt werden und sich damit für eine Reuse-Bibliothek überhaupt eignen. Für den breiten Einsatz dieser Schaltungen sind Standardwerte der relevanten Größen zu spezifizieren. Die Schaltungen müssen entsprechend dimensioniert und beschrieben den Entwicklern in einer Bibliothek zur Verfügung gestellt werden. Nur unter diesen Bedingungen ist damit zu rechnen, dass An-

wender diese Schaltungen in Projekten auch nutzen werden. Diese Arbeiten sind mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Zusätzlicher Aufwand entsteht mit der Pflege der Bibliothek und Migrationen in andere Technologien, wenn man sich nicht nur auf eine bestimmte Technologie beschränken möchte. Eine Hilfe bei der Dimensionierung und Technologiemigration dieser Schaltungen bringt eine universelle und weitgehend technologieunabhängige Schaltungsklassentestbench [3].

Es wäre auch erstrebenswert, für Reuse geeignetes Analog-IP, welches während laufender Projekte entsteht, in der Reuse-Bibliothek festzuhalten. In der Praxis bleibt aber oft nicht genügend Zeit, um während laufender Projekte einzelne Teilschaltungen zu dokumentieren und in eine Bibliothek zu integrieren. Würde das gelingen, dann wäre mit erfolgreichen Reuse mit der „Copy-and-Paste“-Methode zu rechnen. Eine Sammlung von Analog-IP dieser Art wäre ein wertvolles Kapital für die Firma.

Es ist damit zu rechnen, dass die hier präsentierten, für den typischen Anwendungsfall optimierten und in Form von Datenblättern beschriebenen Schaltungen bald in Projekten eingesetzt werden. Die ersten Anwendungen sind bereits geplant.

VIII. AUSBLICK

Es könnte zukünftig eine Erweiterung der „Copy-and-Paste“-Bibliothek erfolgen, indem mehrere Dimensionierungsvarianten für die jeweiligen angebotenen Schaltungstopologien bereitgestellt werden, um ein breiteres Anwendungsspektrum abzudecken. Ein weiterer Schritt zu höherem Wiederverwendungsgrad, der schon über den Rahmen einer „Copy-and-Paste“-Methode hinausgeht, wäre definierte Freiheitsgrade in den Schaltungstopologien zuzulassen. Es ist möglich, generalisierte Aussagen zum Dimensionierungsvorgehen innerhalb einer Schaltungsklasse zu treffen. Diese werden als Grundlage zur Ableitung von Dimensionierungsalgorithmen für diese Schaltungsklasse dienen.

Ein noch höherer Wiederverwendungsgrad lässt sich erreichen, indem die Reuse-Bibliothek auf weitere häufig verwendete Topologievarianten ergänzt wird. Bei einer Vielzahl unterschiedlicher Varianten wird ein Topologieauswahlalgorithmus die Grundlage zur intelligenten Topologieauswahl bilden. Die Kombination der automatisierten Parametereinstellungen und des Topologieauswahlmechanismus [5], basierend auf einer repräsentativen Reuse-Bibliothek, bildet die Zukunft der Wiederverwendung analoger Schaltungen und ist Ziel weiterer Arbeiten.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Barros, J. Guilherme, N. Horta: *Analog Circuits and Systems Optimization Based on Evolutionary Computation Techniques*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, ISBN 978-3-642-12345-0.

- [2] U. Tietze, Ch. Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*, 12. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2002, ISBN 3-540-42849-6.
- [3] A. Gerlach, M. Junge, J. Scheible: *Universelle OTA-Testbench*, ASIM-Workshop STS/GMMS 2014, 20.-21.02.2014, ARGESIM / ASIM Wien – Hochschule Reutlingen, ISBN 978-3-901608-42-1, S. 83 – 87.
- [4] W. Sansen: *Analog Design Essentials*, Springer-Verlag, Netherlands, 2006, ISBN-10 0-387-25746-2.
- [5] W. Kruiskamp, D. Leenaerts: DARWIN: “CMOS opamp synthesis by means of a genetic algorithm”. In: *Proc. ACM/IEEE Design Automation Conference*, ISBN 0-89791-725-1, pp. 550–553 (1995).



Andreas Gerlach erhielt den akademischen Grad des Dipl.-Ing. in Elektro- und Informationstechnik im Jahr 2010 von der Ruhr-Universität Bochum und ist Doktorand am Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik, wo er an Methoden zur verbesserten Wiederverwendung analoger Schaltungen arbeitet.



Moritz Junge studierte Elektrotechnik an der Universität Bremen und war zum Zeitpunkt des Entstehens dieses Artikels Diplomand unter der Betreuung von Andreas Gerlach. Das Thema seiner Diplomarbeit lautet: „Analyse vorhandener Transkonduktanzverstärker und Optimierung hinsichtlich Wiederverwendbarkeit von Schaltung und Layout“.



Jürgen Scheible studierte Elektrotechnik an der TH Karlsruhe, wo er im Jahre 1991 auf dem Gebiet der Electronic Design Automation zum Dr.-Ing. promovierte. Anschließend war er bei der Robert Bosch GmbH im Geschäftsbereich Automotive Electronics in verschiedenen Positionen tätig, zuletzt als Leiter der Entwicklungsabteilung ASIC Layout Design. Seit 2010 ist er Professor für EDA am Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik der Hochschule Reutlingen. Sein Forschungsinteresse gilt der Automatisierung des Entwurfs analoger integrierter Schaltkreise.



Thoralf Rosahl schloss sein Studium der Elektrotechnik an der TU Dresden im Jahre 1990 als Dipl.-Ing. ab. Seit 1991 ist er bei der Robert Bosch GmbH im Geschäftsbereich Automotive Electronics im Bereich „Analoges Schaltungsdesign“ tätig. Der Schwerpunkt seiner Arbeiten liegt auf dem Gebiet von Power-Anwendungen, speziell lineare und getaktete Spannungsversorgungen. Als „Chief Expert Analog Design“ betreut er auch Themen zur Designmethodik.